

Primljen / Received: 19.2.2013.

Ispravljen / Corrected: 21.3.2013.

Prihvaćen / Accepted: 13.5.2013.

Dostupno online / Available online: 10.6.2013.

Hladno recikliranje asfaltnog kolnika primjenom upjenjenog bitumena i cementa

Autori:



Ivica Androjić, mag.ing.aedif.
Osijek-Koteks d.d.
ivica.androjić@osijek-koteks.hr



Gordana Kaluđer, mag.ing.aedif.
Kombel d.o.o.
gordana.kaludjer@kombel.hr

Stručni rad

[Ivica Androjić, Gordana Kaluđer](#)

Hladno recikliranje asfaltnog kolnika primjenom upjenjenog bitumena i cementa

U radu je prikazan tehnološki postupak hladnog recikliranja asfaltnog kolnika na licu mjesta primjenom upjenjenog bitumena i cementa na obnovi kolničke konstrukcije državne ceste D1, na dionici Knin – Biskupija. Prikazanim tehnološkim postupkom ostvaruje se visoki postotak iskoristivosti materijala iz postojeće kolničke konstrukcije čime je smanjena potreba za prirodnim materijalima. Obnovljena kolnička konstrukcija s analiziranim postupkom ima potrebnu nosivost, monolitnost te otpornost na smrzavanje.

Ključne riječi:

asfaltni kolnik, hladno recikliranje, obnova kolnika, upjenjeni bitumen

Professional paper

[Ivica Androjić, Gordana Kaluđer](#)

Cold recycling of asphalt pavements using foamed bitumen and cement

The technological procedure of in-situ cold recycling of asphalt pavement, using the foamed bitumen and cement during pavement structure rehabilitation works on the Knin – Biskupija section of the D1 National Road, is presented in the paper. The technological procedure presented in the paper enables high percentage of material recovery from the existing pavement structure, and thus the need to use natural material is reduced. The pavement structure rehabilitated using the studied procedure has an appropriate bearing capacity, monolithic properties, and resistance to freezing.

Key words:

asphalt pavement, cold recycling, pavement rehabilitation, foamed bitumen

Fachbericht

[Ivica Androjić, Gordana Kaluđer](#)

Kaltrecycling von Asphaltfahrbahnen durch die Anwendung von Schaumbitumen und Zement

In der vorliegenden Arbeit ist das technologische Verfahren des Kaltrecyclings vor Ort durch die Anwendung von Schaumbitumen und Zement in der Instandsetzung der Landesstraße D1 auf dem Abschnitt Knin – Biskupija dargestellt. Mit dem beschriebenen Verfahren wird eine hohe Verwendungsrate des bestehenden Materials erzielt, und somit der Bedarf natürlicher Rohstoffe reduziert. Die durch das beschriebene Vorgehen erneuerte Fahrbahnkonstruktion besitzt die erforderliche Tragfähigkeit, monolithische Struktur und Frostbeständigkeit.

Schlüsselwörter:

Asphaltfahrbahnen, Kaltrecycling, Fahrbahnerneuerung, Schaumbitumen

1. Uvod

Ovisno o raspoloživoj tehnologiji i opremi recikliranje se može izvoditi po hladnom ili vrućem postupku, na mjestu izvođenja ili u pogonima. Hladno recikliranje je tehnološki postupak kojim se asfaltni slojevi kolnika recikliraju bez zagrijavanja, a dobivena se mješavina oplemenjena aditivima koristi za izradu nosivog sloja obnovljenog asfaltnog kolnika. Aditivi su bitumenske emulzije i upjenjeni bitumen. Ako je potrebno modificirati svojstva reciklirane mješavine, dodaju se modifikatori kao što su cement, vapno i/ili leteći pepeo [1] koji imaju funkciju postizanja optimalne vlažnosti mješavine. Također, ovisno o projektnom rješenju, s asfaltnim se slojevima recikliraju i donji nosivi slojevi kolničke konstrukcije.

U Republici Hrvatskoj se tehnologija hladnog recikliranja na mjestu izvođenja primjenom upjenjenog bitumena do sada primjenjivala prilikom obnove državnih i županijskih cesta, a jedna je od tim tehnološkim postupkom obnovljenih cesta i državna cesta DC 55 na dionici Vinkovci – Županja u duljini 17,80 km, obnavljana u dvije faze tijekom 2008. godine. U prvoj se fazi obnavljala dionica Gradište – Privlaka u periodu od sredine svibnja do kolovoza, dok je druga faza radova trajala od listopada do studenog te je u tom periodu obnovljena kolnička konstrukcija ceste na dionici Privlaka – Vinkovci. Isti se tehnološki postupak obnove kolničke konstrukcije primijenio i na dionici Labin – Štrmec državne ceste D 66/2 u duljini od 1,8 km, a sama je obnova trajala pet radnih dana, od 21. do 27. travnja 2010. Županijska cesta 5077 Kanfanar – Žminj, u dionici duljine 2,55 km, obnavljana je od 2. veljače do 15. lipnja, dok je obnova državne ceste D1 Pađene – Stara Straža, duljine dionice 5,88 km, trajala samo 17 radnih dana, od 5. do 28. lipnja 2011. Zajednički nazivnik za sve spomenute obnovljene dionice jest utrošeno relativno kratko vrijeme od početka obnove do puštanja ceste u promet. Obnova spomenutih dionica izvedena je tehnološkim postupkom razvijenim u tvrtci Wirtgen [2, 3] zato što taj postupak još uvijek nije obuhvaćen tehničkim propisima u Republici Hrvatskoj.

2. Hladno recikliranje na mjestu izvedbe primjenom upjenjenog bitumena

Hladno recikliranje na samom mjestu izvođenja (eng. Cold in-place recycling, CIR) izvodi se mljevenjem asfaltnih slojeva postojeće kolničke konstrukcije debljine do 250 mm i miješanjem tako dobivene mješavine slojeva s drobljenim agregatom, cementom ili bitumenom. Mljeveni se materijal stabilizira upjenjenim bitumenom [4]. Hladno reciklirani asfalt primjenjiv je na kolnicima nižeg prometnog opterećenja i na kolnicima autocesta te mora zadovoljiti uvjete otpornosti i stabilnosti. Da bi se zadovoljili traženi uvjeti, nužno je proizvesti homogenu masu na način da se ostvari dobro

prianjanje drobljenog kamenog agregata i bitumena u sveukupnoj mješavini. Reciklirani agregat mora biti dobro granuliran kako bi se ostvarila ujednačena raspodjela zrna u nosivom sloju. Krupnija zrna recikliranog asfaltnog agregata ne smiju imati previše naslaga bitumena kako ne bi došlo do neprianjanja bitumena i kamenih zrna, odnosno loma emulzije na naslagama [4].

Upjenjeni bitumen proizvodi se dodavanjem male količine vode vrućem bitumenu u omjeru 2 do 3 % vode na ukupnu količinu bitumena. Za izradu upjenjenog bitumena koriste se cestograđevni bitumeni koji se primjenjuju u proizvodnji vrućih asfaltnih mješavina, a najčešće su to bitumeni BIT 50/70 i BIT 70/100. Ubrizgavanjem vode u vrući bitumen dolazi do njezinog naglog isparavanja, što izaziva ekspanzivno upjenjavanje bitumena u zasićenoj vodenoj pari. Volumna zapremina bitumena u odnosu na početnu povećava se od 15 do 20 puta, što dovodi do značajnog smanjenja viskoznosti. U tom je obliku bitumen vrlo pogodan za miješanje s hladnim agregatom. Na karakteristike procesa upjenjavanja utječu temperatura bitumena (približno 180°C), pritisak pod kojim se bitumen ubrizgava (približno 500 kPa) te količina dodane vode. Struktura dobivenog ugrađenog materijala je *vrlo dobra* jer sadrži najviše do 10 % šupljina nakon zbijanja. Da bi se izbjegli mogući nedostaci u pogledu zadržane čvrstoće, materijalu se uz bitumen dodaje cement ili vapno u količini od 0,5 do 2,0 % od ukupne mase reciklirane mješavine. Parametri kvalitete proizvedenog upjenjenog bitumena su:

- povećavanjem količine dodane vode povećava se odnos između najveće postignute zapremine upjenjenog bitumena i početne zapremine bitumena prije pjenušanja (od 15 do 20 puta),
- povećavanjem količine dodane vode smanjuje se vrijeme potrebno da se najveća postignuta zapremina upjenjenog bitumena smanji za 50 % (10 do 15 sekundi),
- primijenjena tehnologija raspršivanja,
- u pravilu, što su odnosi zapremina i vrijeme smanjenja najveće postignute zapremine veći, to je kvaliteta upjenjenog bitumena veća.

3. Obnova kolnika državne ceste D1 na dionici: Knin - Biskupija

3.1. Prethodni istražni radovi

Dionica državne ceste D1 016 Knin – Biskupija, od km 1+817 do km 7+655, ukupne duljine 5,838 km obnovljena je u periodu od 23. listopada do 13. prosinca 2011., odnosno u 18 radnih dana. Investitor radova bile su Hrvatske ceste d.o.o., glavni izvođač radova Osijek – Koteks d.d., podizvođač radova za hladno recikliranje Primorje d.d. iz Ajdovščine, a kontrolu kvalitete izvodila je tvrtka TPA d.o.o. iz Dugopolja.

Prethodni radovi započeli su vizualnim pregledom kolničke konstrukcije čime je utvrđeno postojanje kolotruga i niza mrežastih pukotina (vidi sliku 4.). U svrhu određivanja sastava i

dubine postojeće kolničke konstrukcije, provjere kolničke konstrukcije na smrzavanje kao i recepture za obnovu kolničke konstrukcije izvedena su tri sondažna iskopa na trasi, i to na km 1+980 L, km 4+242 S i na km 5+660 D [5]. Sondažnim radovima utvrđena je prosječna debljina postojećeg asfalta od 13,5 cm i nevezanog nosivog sloja iz tamponskog drobljenog kamenog materijala granulacije 0/32 mm debljine veće od 18,0 cm. Provjera kolničke konstrukcije na smrzavanje provedena je usporedbom debljine kolničke konstrukcije i dubinom smrzavanja te je ustanovljeno da kolnička konstrukcija nema traženu debljinu od 45 (42) cm [6].

Istodobno je ispitana pogodnost postojećeg materijala iz kojeg je izrađena kolnička konstrukcija kao i drobljenog vapnenačkog kamenog materijala frakcije 0/4 mm dodavanog u smjesu glodanog asfalta. Drobljeni kameni materijal korišten je iz obližnjeg kamenoloma Zemunik i deponiran na gradilištu u količinama potrebitim za neometano izvođenje radova (slika 1.).

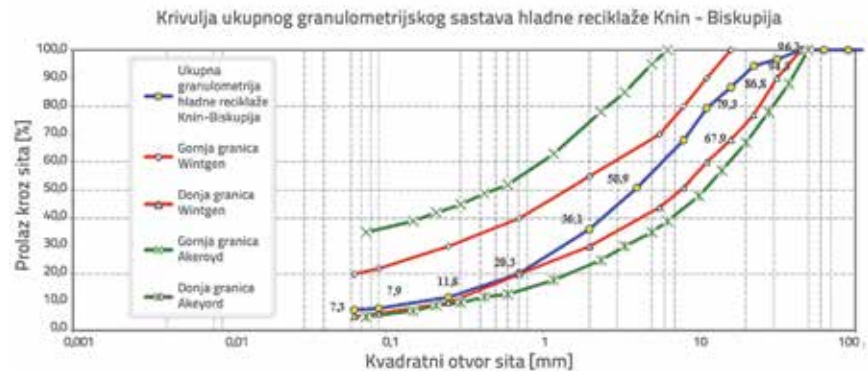


Slika 1. Deponiranje drobljenog kamenog materijala 0/4 mm na gradilištu

3.2. Prethodni i radni sastav

Od materijala postojeće kolničke konstrukcije - asfaltnog zastora i drobljene kamene mješavine, potrebne količine dodanog drobljenog kamenog materijala frakcije 0/4 mm, cestograđevnog bitumena, cementa i vode, u laboratoriju za asfalte Vrtojba izrađen je prethodni sastav za hladno recikliranje primjenom upjenjenog bitumena i cementa. Prethodni sastav mješavine izrađen je prema Wirtgen Cold Recycling Manual [2, 3].

Sastav smjese kamenih zrna recikliranog sloja određen je sukladno normi HRN EN 933-1 za određivanje granulometrijskog sastava agregata – Metoda sijanja (EN 933-1:1997/A1:2005) [7]. Za odabir mješavine kamenog materijala primijenjene su granične krivulje granulometrijskog sastava po preporuci Wirtgena i Akroyda [2, 3]. Cement koji se upotrebljava u radnom sastavu je miješani portlandski cement CEM II/A-M (S-V) 42,5 N.



Slika 2. Ukupni granulometrijski sastav hladne reciklaže [9]

3.2.1. Granulometrijski sastav mješavine

Granulometrijski sastav mješavine određen je prema hrvatskoj normi [8] uzimajući u obzir preporuke [2, 3], što je grafički prikazano na slici 2., [9].

Na slici 2. prikazan je ukupni granulometrijski sastav mješavine koja u svom sastavu sadrži reciklirani asfalt dobiven strojnim glodanjem, postojeću kamenu mješavinu iz kolničke konstrukcije maksimalnog zrna do 45 mm, dodani kameni materijal frakcije 0/4 mm i cement. Laboratorijska mješavina granulometrijskog je sastava 0/31,5 mm s udjelom zrna većih od 31,5 mm u iznosu od 3,3 %.

3.2.2. Suha prostorna zapreminska masa i optimalna vlaga mješavine po Proctoru

Ispitnom metodom za određivanje laboratorijske referencijske gustoće i udjela vode – zbijanje po Proctoru (HRN EN 13286-2) [10] utvrđena je optimalna vlaga $w_{opt} = 5,8 \%$, i najveća suha prostorna masa uzorka $r_{d,max} = 2173 \text{ kg/m}^3$. Ukupno su ispitana četiri uzorka mješavine postojećega glodanog asfalta, glodane kamene mješavine iz nosivog sloja kolničke konstrukcije i drobljenog kamenog materijala frakcije 0/4 mm. Za ispitivanje zbijanja po Proctoru upotrijebljen je valjak visine 12 cm, promjera 15 cm, volumena $2,005544 \text{ dm}^3$ i mase 4,215 kg te bat mase 4,54 kg puštan da pada s visine od 45,7 cm u serijama 5 x 56 udaraca.

3.2.3. Optimalni udio cestograđevnog bitumena u recikliranoj mješavini (ITS)

Prethodnim sastavom je izabran cestograđevni bitumen BIT 70/100 koji se ubrizgava pritiskom od 12,0 bara i protokom od 105,0 g/s. Voda iz gradskog vodoopskrbnog sustava dozira se pod pritiskom od 5,0 bara, a zrak pod pritiskom od 4,0 bara. Uvjeti upjenjavanja su: temperatura cestograđevnog bitumena od 170° C i udio vode od 2,8 %, vrijeme ekspanzije 13 s, vrijeme postizanja najveće zapremine 12 s. Zadani su zahtjevi najmanjih indirektnih vlačnih čvrstoća vlažnog uzorka (min. 100 kPa), suhog uzorka (200 kPa) i omjer indirektnih

Tablica 1. Određivanje karakteristika upjenjavanja bitumena [9]

Udio vode [%]	Protok vode kroz volumen [l/h]	1. mjerenje		2. mjerenje		3. mjerenje		prosječno	
		Stupanj ekspanzije	t _½ [s]	Stupanj ekspanzije	t _½ [s]	Stupanj ekspanzije	t _½ [s]	Stupanj ekspanzije	t _½ [s]
1,3	5	4	18	4	16	6	17	5	17
1,9	7	6	15	6	15	6	15	6	15
2,4	9	10	13	12	11	13	12	12	12
2,8	11	12	12	13	12	13	12	13	12
3,4	13	13	8	12	12	11	8	12	10
4,0	15	16	7	16	7	15	6	16	7
4,6	17,5	18	5	18	5	18	5	18	5

Stupanj ekspanzije (eng. expansion ratio) predstavlja odnos između najveće postignute zapremine upjenjenog bitumena i početne zapremine bitumena prije postupka upjenjavanja
t_½ (eng. half-life time), vrijeme za koje se najveća postignuta zapremina upjenjenog bitumena smanji za 50 %, odnosno vrijeme za koje se ekspanzija smanji za polovicu vrijednosti

vlačnih čvrstoća vlažnog i suhog uzorka (min. 50 %). Reciklirana mješavina sastoji se od 57,8 % glodanog asfalta, 19,3 % glodane kamene mješavine, 21,4 % dodanog drobljenog kamenog materijala frakcije 0/4 mm i 1,5 % cementa. Laboratorijskim je ispitivanjima, prema postavljenim uvjetima, utvrđen optimalni udio dodatnog bitumena od 2,5 %.

3.2.4. Određivanje karakteristika upjenjavanja bitumena

U laboratorijskim ispitivanjima određivanja karakteristika upjenjavanja bitumena upotrijebljen je prethodnim sastavom definiran cestograđevni bitumen BIT 70/100, zagrijan na stalnoj temperaturi od 170° C, ubrizgavan pod pritiskom od 12,0 bara i protokom 105,0 g/s. Voda iz javnog vodoopskrbnog sustava dodavana je u različitom postotnom omjeru u odnosu na količinu dodatnog bitumena, ali pod jednakim pritiskom od 5,0 bara. Zrak je ubrizgavan pod pritiskom od 4,0 bara. Ukupno vrijeme ubrizgavanja iznosi 4,76 s. Ukupno su izvršena tri mjerenja, a rezultati su prikazani u tablici 1.

3.2.5. Prethodni sastav reciklirane mješavine

Provedena laboratorijska ispitivanja sondažnih uzoraka kolničke konstrukcije prije obnove, uzoraka frakcije drobljenog kamenog materijala 0/4 mm, kao i zapreminske mase i optimalne vlage reciklirane mješavine, te određivanje karakteristika upjenjavanja odabranog cestograđevnog bitumena omogućila su izradu prethodnog sastava reciklirane mješavine. Prethodnim sastavom je utvrđen udio svih sastavnica mješavine izražen u postotnom iznosu i količinom u kg/m³ reciklirane mješavine. Prethodni sastav definira indirektno vlačne čvrstoće suhog i mokrog uzorka koje moraju biti postignute postupkom hladnog recikliranja na mjestu izvođenja. Radni sastav reciklirane mješavine prikazan je u tablici 2., dok tablica 3. prikazuje ostvarene vrijednosti vlačne čvrstoće reciklirane mješavine pri samom postupku izvođenja hladnog recikliranja s upjenjenim bitumenom te ostvarene

udjele cementa, vode i dodatnog cestograđevnog bitumena u ukupnoj mješavini.

Tablica 2. Radni sastav reciklirane mješavine [9]

Postojeći glodani asfalt	57,8 %; 13,5 cm
Postojeća drobljena kamena mješavina	19,3 %; 4,5 cm
Dodani kameni materijal frakcije 0/4 mm	21,4 %; 5,0 cm
Cement CEM II/A-M (S-V) 42,5 N	1,5 %
Dodatni cestograđevni bitumen 70/100	2,5 %

Tablica 3. Ostvarene vrijednosti vlačne čvrstoće reciklirane mješavine i udjeli dodataka

Indirektna vlačna čvrstoća suhog uzorka, ITSs	553 kPa
Indirektna vlačna čvrstoća vlažnog uzorka, ITSm	429 kPa
Odnos ITSm/ITSs	78 %
Reciklirana mješavina	2173 kg/m ³
Cement	32,6 kg/m ³ (7,5 kg/m ²)
Dodatni bitumen	54,3 kg/m ³ (12,5 kg/m ²)
Voda	126,0 kg/m ³ (29,0 kg/m ²)

4. Izbor strojeva za izvedbu hladnog recikliranja

Za izvođenje hladnog recikliranja primjenom upjenjenog bitumena i cementa pažljivo je proveden odabir strojeva i vozila. Reciklažni vlak sastojao se od reciklera, posipača cementa, cisterne za vodu, cisterne za bitumen, valjka i grejdera. Dio reciklažnog vlaka prikazan je na slici 3.



Slika 3. Reciklažni vlak na gradilištu

Upotrijebljeni recikler *Wirtgen WR 2500* ima sljedeća obilježja:

- ostvaruje zahtijevanu zrnatost i homogenost mješavine samo jednim prelaskom,
- širina bubnja za glodanje iznosi 2,44 m uz mogućnost promjene brzine okretanja bubnja,
- mogućnost recikliranja do dubine 50 cm u jednom prelasku; dubina recikliranja ovisi o debljini asfaltnih slojeva,
- svi sustavi ubrizgavanja vode i upjenjenog bitumena kontroliraju se mikroprocesorom te se automatski provode promjene ovisno o radnoj brzini reciklera.

Upotrijebljeni posipač za cement *Streumaster RW 12000* sljedećih je obilježja :

- zapremina od 10,0 m³,
- širina posipanja 2,80 m uz mogućnost zatvaranja polovice širine,
- količina posipanja pri konstantnom kretanju pogonske grede ovisi o brzini transportnog lanca cementa i brzini puža za doziranje smještenog u konzoli za posipanje.

5. Opis postupka recikliranja

Obnova kolničke konstrukcije provedena je na način da se na postojeću konstrukciju kolnika dodavao drobljeni kameni materijal frakcije 0/4 mm u prosječnoj debljini od 5 cm (slika 4.). Zatim je uslijedilo posipanje drobljenog kamenog agregata cementom u količini utvrđenoj prethodnim sastavom (slika 5.). Glodanje postojeće kolničke konstrukcije do dubine od 18 cm zajedno s drobljenim kamenim materijalom frakcije 0/4 mm izvodilo se reciklerom. Pri izvođenju recikliranja recikler pred sobom gura cisterne s vodom i bitumenom međusobno povezane cijevima za guranje. Glodanom materijalu u bubnju za glodanje ubrizgava se voda i vrući bitumen. Iza reciklera prolazi vibracijski valjak koji vrši predzbijanje reciklirane mješavine koja se grejderom nivelira na projektirane padove (slika 6.).

Prethodno opisanim postupkom izveden je nosivi sloj kolničke konstrukcije u debljini od 23 cm, stabiliziran hidrauličnim vezivom i upjenjenim bitumenom. Kontrola debljine nosivog sloja kolničke konstrukcije provodila se svakodnevno, slika 7.



Slika 4. Posipanje postojećeg kolnika drobljenim kamenom



Slika 5. Posipanje drobljenog kamena cementom

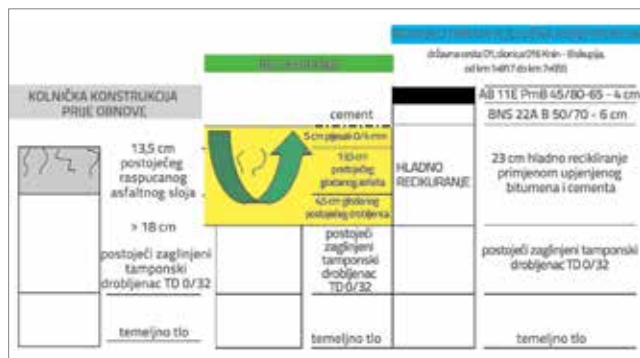


Slika 6. Predzbijanje reciklirane mješavine



Slika 7. Kontrola debljine nosivog sloja kolničke konstrukcije

Slika 8. prikazuje presjek postojeće kolničke konstrukcije prije obnove, postupak dobivanja nosivog sloja s naknadno dodanim drobljenim kamenim materijalom frakcije 0/4 mm posipanom cementom, asfalta i zaglinjenog tamponskog drobljenca, te konačno presjek obnovljene kolničke konstrukcije. Nakon izrade stabiliziranog nosivog sloja uslijedila je ugradba nosivog asfaltnog sloja BNS 22 B 50/70, debljine 6 cm te asfaltnog habajućeg sloja AB 11 E PmB 45/80-65, debljine 4 cm.



Slika 8. Presjek kolničke konstrukcije prije i nakon obnove [9]

6. Kontrola kvalitete

Tekuća ispitivanja na samom mjestu izvođenja uključivala su kontrolu:

- količine posipanog cementa na četvornom metru reciklirane kolničke konstrukcije,
- provjeru i mjerenje dubine recikliranja,
- mjerenje temperature i karakteristika upjenjenog bitumena.

Tijekom izvođenja radova, a za potrebe tekućih ispitivanja, uzimani su uzorci mješavine recikliranog sloja. Na slici 9. prikazani su uzorci reciklirane mješavine koji su pripremljeni za provedbu ispitivanja.

Projektom predviđeni parametri za kolničku konstrukciju koja se obnavlja postupkom hladnog recikliranja uz primjenu upjenjenog bitumena i cementa su sljedeći:



Slika 9. Uzorci reciklirane mješavine pripremljeni za ispitivanje

- indirektna suha vlačna čvrstoća (suhi uzorak) $ITS_s \geq 200$ kPa,
- indirektna vlažna vlačna čvrstoća (vodom zasićeni uzorak) $ITS_m \geq 100$ kPa,
- odnos $ITS_m / ITS_s \geq 50$ %,
- udio dodatnog bitumena: 2.5 % (tablica 2.),
- debljina sloja kolničke konstrukcije bez asfaltnog zastora: 23 cm (tablica 2.),
- stupanj zbijenosti: min ≥ 98 % [2, 3].

Temeljem provedenih ispitivanja na recikliranom sloju utvrđeno je da kvaliteta stabiliziranog recikliranog sloja kolničke konstrukcije s upjenjenim bitumenom i cementom zadovoljava tehničke uvjete propisane projektom kolničke konstrukcije. Rezultati ispitivanja parametara obnovljene kolničke konstrukcije detaljno su prikazani u radu.

Indirektna vlačna čvrstoća (ITS)

Uočena su određena odstupanja srednjih vrijednosti vlačnih čvrstoća suhog i mokrog uzorka u odnosu na prethodni sastav, odnosno recepturu. Ispitivanje vlačne čvrstoće mokrog i suhog uzorka provedeno je na ukupno 54 uzorka. Najmanja i najveća srednja vrijednost vlačne čvrstoće mokrog uzorka (ITS_m) iznosi 219 kPa, odnosno 444 kPa, dok je prethodnim sastavom zahtijevana vlačna čvrstoća od 429 kPa. Najmanja i najveća srednja vrijednost vlačne čvrstoće suhog uzorka (ITS_s) iznosi 309 kPa, odnosno 629 kPa, a prethodnim sastavom je zahtijevana 553 kPa. Najmanja i najveća srednja vrijednost indirektna vlačne čvrstoće vlažnog i suhog uzorka, ITS_m / ITS_s iznose 67,9 %, odnosno 78,0 %. Vrijednost odnosa indirektna vlačne čvrstoće vlažnog i suhog uzorka propisanog radnim sastavom iznosi 78 %.

U tablici 4. prikazane su sve ostvarene, minimalne, maksimalne i prosječne vrijednosti vlačnih čvrstoća uzoraka te standardna odstupanja. Srednja vrijednost indirektna vlačne čvrstoće vodom zasićenog uzorka (ITS_m) iznosi 374 kPa, što zadovoljava propisane uvjete iz projekta kolničke konstrukcije (min. 100 kPa). Srednja vrijednost indirektna vlačne čvrstoće suhog uzorka (ITS_s) iznosi 520 kPa, što zadovoljava propisane uvjete iz projekta kolničke konstrukcije (min. 200 kPa). Vrijednost odnosa indirektna vlačne čvrstoće vlažnog i suhog uzorka,

ITS_m / ITS_s iznosi 72,1 %, što zadovoljava propisane uvjete iz projekta kolničke konstrukcije (min. 50 %).

Udio cestograđevnog bitumena

Udio dodatnog cestograđevnog bitumena u recikliranoj mješavini prema prethodnom sastavu iznosi 2,5 %, a ostvareni

prosječni udio dodatnog cestograđevnog bitumena iznosi 4,8 % (tablica 4.). Srednja vrijednost udjela bitumena iznosi 4,8 %, a ispitana je prema HRN EN 12697-1 [11]. Do znatnog povećanja udjela cestograđevnog bitumena u odnosu na prethodni laboratorijski sastav došlo je uslijed korištenja reciklirane mješavine sitnije granulacije na samom mjestu

Tablica 4. Indirektne vlačne čvrstoće (ITS) [12]

Datum uzorkovanja	Lokacija uzorkovanja	Udio dodatnog bitumena	ITS_m [kPa]	ITS_s [kPa]	ITS_m / ITS_s	Udio cementa [%]	Udio vlage [%]	Debljina sloja [cm]
23.10.2011.	km 5+700	5,5 %	371,359,362 364	483,479,455 472	77,1 %	1,44	4,2	23
24.10.2011.	km 5+460	5,3 %	373,391,378 381	514,482,503 500	76,2 %	1,54	4,7	23
25.10.2011.	km 5+380	4,9 %	386,396,417 400	532,554,555 547	73,1 %	1,63	4,8	22
26.10.2011.	km 5+210	4,0 %	380,392,361 378	539,561,540 547	69,1 %	1,65	5,7	23
28.10.2011.	km 5+000	3,6 %	342,342,332 339	413,441,448 434	78,0 %	1,52	5,2	23
30.10.2011.	km 4+800	4,8 %	369,343,358 357	480,498,512 497	71,8 %	1,42	5,7	22
05.11.2011.	km 4+620	4,0 %	224,229,204 219	302,317,309 309	70,8 %	1,35	5,9	22
06.11.2011.	km 4+520	4,2 %	353,374,338 355	506,515,518 513	69,2 %	1,65	5,1	23
08.11.2011.	km 4+260	4,2 %	376,410,360 382	570,556,542 556	68,7 %	1,51	5,1	23
10.11.2011.	km 4+000	5,8 %	421,450,372 414	572,586,586 581	71,3 %	1,63	5,9	24
10.11.2011.	km 3+960	5,8 %	433,468,432 444	630,602,655 629	70,6 %	1,59	4,3	23
26.11.2011.	km 3+780	4,4 %	397,400,411 403	498,468,498 488	82,5 %	1,43	6,2	23
27.11.2011.	km 3+570	4,9 %	391,397,431 406	587,577,586 583	69,7 %	1,64	6,5	23
28.11.2011.	km 3+380	5,9 %	392,381,354 376	504,493,491 496	75,7 %	1,53	5,9	23
06.12.2011.	km 2+600	4,6 %	365,362,348 358	504,494,513 504	71,1 %	1,51	4,8	23
07.12.2011.	km 2+210	4,9 %	405,379,395 393	578,553,519 550	71,5 %	1,56	4,6	23
09.12.2011.	km 1+860	4,5 %	389,404,388 394	589,592,587 589	66,8 %	1,59	5,8	23
13.12.2011.	km 1+620	4,2 %	370,399,367 379	550,577,545 557	67,9 %	1,51	5,7	23
Aritmetička sredina		4,8 %	374	520	72,1 %	1,54 %	5,3	22,9
Minimalna vrijednost		3,6 %	204	302	66,8 %	1,35 %	4,2	22
Maksimalna vrijednost		5,9 %	450	655	82,5 %	1,65 %	6,5	24
Standardno odstupanje		0,689	45,268	71,2947	4,1043	0,0880	0,6734	0,4715
Standardno odstupanje aritmetičke sredine		0,1624	10,6699	16,8045	0,9674	0,0207	0,1587	0,1111

Tablica 5. Stupanj zbijenosti određen volumometrom [12]

Datum uzorkovanja	Lokacija uzorkovanja	Gustoća suhog uzorka (volumometar) [t/m ³]	Gustoća suhog uzorka (Proctor) [t/m ³]	Stupanj zbijenosti [%]
23/24.10.2011.	5+700L/5+750L	2,062	2,030	98,4
24/25.10.2011.	5+460L/5+445L	2,076	2,236	107,7
25/26.10.2011.	5+380L/5+340L	2,091	2,222	106,3
26.10./02.11.	5+210L/5+180L	2,179	2,172	99,7
28.10./02.11.	5+000L/4+900L	2,137	2,186	102,3
30.10./02.11.	4+800L/4+730D	2,107	2,077	98,6
05/08.11.2011.	4+620D	2,121	2,132	100,5
06/08.11.2011.	4+520D	2,135	2,182	102,2
08/11.11.2011.	4+260	2,108	2,247	106,6
26/28.11.2011.	3+780L	2,136	2,299	107,6
27/28.11.2011.	3+570	2,132	2,213	103,8
28/30.11.2011.	3+380	2,111	2,089	99,0
06/07.12.2011.	2+600	2,152	2,163	100,5
07/08.12.2011.	2+210	2,092	2,149	102,7
09/12.12.2011.	1+860	2,158	2,202	102,0
13/14.12.2011.	1+620	2,161	2,148	99,4
Aritmetička sredina		2,122	2,172	102,3
Minimalna vrijednost		2,062	2,030	98,4
Maksimalna vrijednost		2,179	2,299	107,7
Standardno odstupanje		0,0324	0,0683	3,1326
Standardno odstupanje aritmetičke sredine		0,0020	0,0171	0,1958

ugradnje (slika 10.). Promjena granulometrijskog sastava reciklirane mješavine posljedica je tehnološkog procesa strojnog glodanja i varijabilnosti sastava slojeva postojeće kolničke konstrukcije.

Debljina sloja

Prosječna ostvarena debljina recikliranog nosivog sloja stabiliziranog upjenjenim bitumenom i cementom iznosi 22,9 cm (tablica 4.), što zadovoljava dopušteno odstupanje od +/-10%.

Stupanj zbijenosti volumometrom

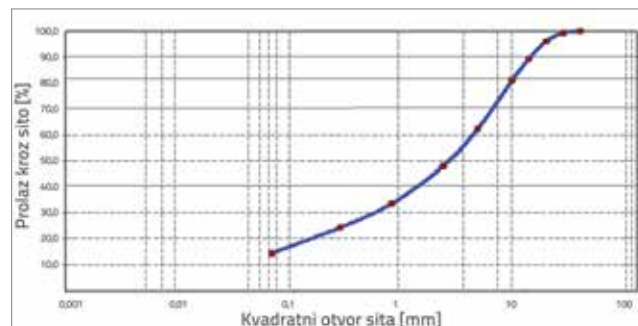
Srednja vrijednost stupnja zbijenosti određenog volumometrom iznosi 102,3 %, što zadovoljava propisane uvjete iz projekta kolničke konstrukcije (min. ≥ 98 %). Ostvarene vrijednosti stupnja zbijenosti te standardna odstupanja prikazani su u tablici 5.

Ekstrakcija reciklirane mješavine

Nakon izdvajanja cestograđevnog bitumena u laboratoriju iz uzorkovanih mješavina sa samog mjesta ugradnje, a za vrijeme izvođenja postupka hladnog recikliranja, određena je prosječna granulometrijska krivulja prema HRN EN 933-

1 (slika 10.). Obrađena su sveukupno 54 uzorka, kako je prikazano u tablici 4.

Na slici 10. vidljivo je da prosječni granulometrijski sastav ispitanih uzoraka reciklirane mješavine znatno odstupa u odnosu na prethodni laboratorijski sastav prikazan na slici 2. Prosječna granulometrijska krivulja dobivena ekstrakcijom je znatno sitnije granulacije u odnosu na projektiranu laboratorijsku mješavinu. Ostvarena reciklirana mješavina je granulacije 0/22,4 mm koja u svom sastavu sadrži 14,3 % prolaska zrna na situ otvora 0,063 mm.



Slika 10. Prosječna ekstrakcija reciklirane mješavine [12]

7. Zaključak

Temeljem dostupnih podataka o pozitivnim iskustvima u primjeni tehnologije obnove kolničkih konstrukcija postupkom hladnog recikliranja upjenjenim bitumenom i cementom realno je očekivati prihvaćanje tog postupka obnove kolnika. Kod rekonstrukcija i obnova cesta klasičnim postupkom ne rješava se problem nastalog otpadnog asfalta, nego se on trajno smješta na odlagalištima. Stoga je nužno primjenjivati ekološki prihvatljivije metode kojima se ostvaruje visoki postotak iskoristivosti nastalih otpadnih sirovina iz postojećih kolničkih konstrukcija. Recikliranje donosi višestruku korist, ekonomsku i ekološku, uštedu prirodnih mineralnih sirovina, ali i uštedu prostora

potrebitog za trajno ili privremeno odlaganje nastalog otpadnog materijala. Obnovom kolničke konstrukcije ovim tehnološkim postupkom skraćuje se vrijeme transporta jer se iskopani materijal ne odvozi, a niti se dovozi novi prirodni kameni materijal za izvođenje radova.

Tehnološkim postupkom obnove kolničke konstrukcije opisanim u ovom radu dobiva se obnovljena kolnička konstrukcija koja ima traženu otpornost na smrzavanje te potrebnu nosivost i monolitnost jer je izvedena u jednom sloju. Za potvrdu svemu navedenom slijedi praćenje ove ceste u budućnosti, što uključuje vizualni pregled pukotina, ispitivanje defleksija deflektometrom s padajućim teretom (FWD) te mjerenje međunarodnog indeksa ravnosti (IRI).

LITERATURA

- [1] The Asphalt Handbook, Manual Series No.4 /MS-4/ Seventh Edition, Asphalt Institute, USA, 2007.
- [2] Wirtgen Cold Recycling Manual, 2nd Edition, 2004.
- [3] Wirtgen Cold Recycling Manual, 3th Edition, 2010.
- [4] Miljković, M.: Hladna reciklaža na licu mesta asfaltnih kolovoznih konstrukcija uz primenu penastog bitumena kao veziva, Put i saobraćaj, (2009) 2, 18-24.
- [5] Primorje d.d.: Tehnološki elaborat za prethodni radni sastav (recepturu) za hladnu reciklažu s cementom i upjenjenim bitumenom, Ajdovščina, travanj 2011.
- [6] Sršen, M., Kovačić, M., Kaučić, D.: Određivanje dubine smrzavanja tla ispod kolničke konstrukcije, GRAĐEVINAR 56 (2004) 3, 145-154.
- [7] HRN EN 933-1: Ispitivanje geometrijskih svojstava agregata -1. dio: Određivanje granulometrijskog sastava – Metoda sisanja (EN 933-1:1997/A1:2005)
- [8] HRN.U.B1.018:1980 Geomehanička ispitivanja. Određivanje granulometrijskog sastava
- [9] Radni sastav (receptura) za hladnu reciklažu s cementom i upjenjenim bitumenom, Primorje d.d., Ajdovščina, 14. 09. 2011.
- [10] HRN EN 13286-2: Nevezane i hidrauličnim vezivom vezane mješavine - 2. dio: Ispitne metode za određivanje laboratorijske referencijske gustoće i udjela vode – Zbijanje po Proctoru (EN 13286-2:2004)
- [11] HRN EN 12697-1: Bitumenske mješavine - Ispitne metode za asfalt proizveden vrućim postupkom - 1. dio: Topljivi udio veziva (EN 12697-1:2000+AC:2001)
- [12] Završni izvještaj o kvaliteti izvođenja hladne reciklaže s cementom i upjenjenim bitumenom, Osijek-Koteks, Osijek, 20.12. 2011.